Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich

Untersuchungen über die Variabilität des Wurzelkanalsystems unterer Prämolaren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Johannes Tzoumaris
aus Aristinon, Alexandroupolis / Griechenland

1963

7594

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich

Untersuchungen über die Variabilität des Wurzelkanalsystems unterer Prämolaren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Johannes Tzoumaris
aus Aristinon, Alexandroupolis / Griechenland

1963

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Dekan:	Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich
Referent:	Prof. Dr. A. Kröncke
Korreferent:	Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Dem Andenken meines Vaters

und in Dankbarkeit meiner Mutter und meiner Frau gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Einleitung	.....	1
Literaturübersicht	.....	2
Material und Methode	.....	14
Ergebnisse	.....	16
Diskussion der Ergebnisse	.....	26
Zusammenfassung	.....	30
Literaturverzeichnis	.....	32

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547607_0027

EINLEITUNG

Ein wichtiges Ziel der konservierenden Zahnheilkunde liegt in der Gesunderhaltung des Pulpaorganes und des apicalen Parodontalgewebes. Die Prophylaxe der Pulpaerkrankungen und der Erkrankungen des apicalen Parodontiums kann deshalb als vornehmste Aufgabe des Zahnarztes angesehen werden.

So lange es möglich ist, wird die gesunde, reaktionsfähige Pulpa des Zahnes durch rechtzeitige und korrekte Füllung des kariösen Defektes lebend erhalten. Kommt es jedoch zu einer Pulpaerkrankung, so bleibt meist keine andere Möglichkeit als eine Pulpa- oder Wurzelkanalbehandlung durchzuführen, um das Gebiß gesund und funktionstüchtig zu erhalten.

Der Erfolg dieser Behandlungsmethoden hängt zu einem wesentlichen Teil von den anatomischen Besonderheiten der Wurzelkanäle ab. Die Kenntnis der normalen Verhältnisse wie ihrer Abweichungen ist deshalb von großer Bedeutung. Durch zahlreiche Untersuchungen über den Bau der Wurzelkanäle des bleibenden Gebisses wurde bereits nachgewiesen, daß sie nicht einfach gebaute Kanalsysteme darstellen. Vielmehr kommen neben Zweiteilungen der Wurzelkanäle apicale Verzweigungen und seitliche Verbindungskanäle zum Periodontium vor. Mechanisch können Gewebsreste aus diesen Nebenkanälchen kaum entfernt werden. Plastische Wurzelfüllungsmaterialien dringen in sie nur ausnahmsweise vor.

Aus diesen für die praktische zahnärztliche Therapie wichtigen Erkenntnissen beschreibt jedes Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde sehr ausführlich die normale anatomische Topographie des Pulpa- und Wurzelkanalsystems und dessen Abweichungen.

Nach unseren Beobachtungen (KRÖNCKE) scheinen jedoch die Angaben für untere Prämolaren keineswegs sicher zu sein. In der Praxis sind gerade bei diesen Zähnen häufiger Abweichungen von der normalen Form zu beobachten, als allgemein angegeben wird.

Aus diesen Gründen befaßt sich die vorliegende Abhandlung mit Untersuchungen über die Variabilität des Wurzelkanalsystems der unteren Prämolaren.

LITERATURÜBERSICHT

Bei der Durchsicht der speziellen Literatur über die Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses stellt man fest, daß vor dem Jahr 1891 nur spärliche Angaben zu finden sind. Die meisten Autoren beschränkten sich seinerzeit darauf, die äußeren Formen der Wurzeln zu beschreiben. Die genaueste Beschreibung der Wurzelkanäle in Bezug auf ihre Anzahl und ihren Verlauf gab CARABELLI(1844) in seinem Lehrbuch "Systematisches Handbuch der Zahnheilkunde", in dem er auch Pulpakammern und Wurzelkanäle abbildete.

MÜHLREITER (16) beschäftigte sich in seiner Abhandlung über "Die Anatomie des menschlichen Gebisses" als erster mit diesen Verhältnissen eingehender und beschrieb Beobachtungen, die sich später bei der Anwendung von Korrosionsmethoden [1] als richtig erwiesen.

PREISWERK (18) konnte schließlich nachweisen, daß die Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses einen erheblich komplizierteren Bau aufweisen als vorher angenommen wurde. Anhand von Metallkorrosionspräparaten stellte er fest, daß Form, Anzahl und Verzweigungen der Wurzelkanäle große Variationen aufwiesen. Wenn auch die Befunde PREISWERKs nicht überall ohne Widerspruch aufgenommen wurden, und wenn auch die Methode an sich beanstandet und ihre Resultate als Kunstprodukte angesehen wurden, so hat PREISWERK doch durch diese wertvolle Arbeit zu weiteren Forschungen auf diesem Gebiete angeregt.

MILLER (15) wies auf die Wichtigkeit der genauen Kenntnis der Anatomie der Wurzelkanäle hin und zeigte mit einigen Schliffen die Variationen der Form und des Verlaufs der Kanäle.

Einige Jahre später (1907) untersuchte FISCHER (5) die Wurzelkanäle des menschlichen und tierischen Gebisses hinsichtlich ihrer feinen Verästelungen. Er stellte die Einwirkung physiologischer und pathologischer Einflüsse bei der Ausbildung der Wurzelkanäle und ihrer apicalen Verzweigungen fest und zeigte anhand von makroskopischen und mikroskopischen Präparaten, in welch hohem Maße die Anatomie der Wurzelkanäle durch feine Verästelungen und Querbrücken differenziert sein kann. Der Autor gab für die einzelnen Zahngattungen an, mit welcher prozentualen Häufigkeit Verzweigungen auftreten. Die ersten und zweiten Prämolaren des Unterkiefers verzweigen sich nach seinen Angaben in 35% der Fälle. Weitere Untersuchungen FISCHERs (6) betrafen die Anordnung der apicalen Wurzelkanalverzweigungen der verschiedenen Zähne.

---

1) Als Korrosionsmethoden bezeichnet man Präparationsverfahren, bei denen die Hartsubstanzen des Zahnes verloren gehen und ein Abguß des Pulpenraumes übrig bleibt.

Zu erwähnen sind noch Untersuchungen auf diesem Gebiete von LOOS (13), der anhand von Schliffpräparaten genaue Angaben über Form und Topographie der Pulpakammer und der Wurzelkanäle machte. Die feineren apicalen Verzweigungen wurden in seiner Arbeit jedoch nicht behandelt.

FISCHER(7) griff dieses Thema (1912) erneut auf und kam zu folgendem Schluß. " Die Pulpa hat die Neigung, sich kurz vor dem Foramen apicale in einzelne Äste aufzulösen. Wenn man bei schwacher Lupenvergrößerung das Foramen apicale betrachtet, so sieht man verschiedene Figurationen des Wurzelkanalausganges." FISCHER fand, daß von 100 untersuchten ausgewachsenen menschlichen Zähnen etwa 90 kein geräumiges, regelmäßig geformtes Wurzelloch, sondern stattdessen nach vielen Richtungen hin kompliziert gestaltete Pulpaausgänge aufweisen. Die verschiedenen Kanalausgänge gehen sehr bald in den Haupt-Pulpakanal über. Mikroskopische Schnitte durch die Wurzelspitze menschlicher Zähne zeigten deutlich, daß sich der Pulpakanal häufig kurz vor dem Foramen apicale in Seitenästchen teilt. Auch die unteren ersten Prämolaren zeigten große Abweichungen. Teils waren wenige, dafür aber zackige und unregelmäßig gestaltete Foramina vorhanden, teils war deren Zahl, bis zu 9, vermehrt, teils mündeten die Kanälchen in verschiedenen Abständen vor den eigentlichen Wurzelspitzen nach außen. Bei den zweiten unteren Prämolaren beobachtete FISCHER eine gewisse Neigung, an der Wurzelspitze ein Zwei-Kanal-System auszubilden. War nur eine Wurzel vorhanden, so fand sich ein breiter spaltförmiger Kanal, dem gelegentlich Nebenästchen angegliedert waren. Vereinzelt wurden auch hier sekundäre Kanäle weit entfernt vom eigentlichen Foramen gefunden.

ADLOFF (1) machte kurze Zeit später (1913) auf eine neue Methode aufmerksam, die von SPALTEHOLZ zur Aufhellung von undurchsichtigen Präparaten beschrieben worden war. Der Autor versuchte wohl als erster den Bau des Pulpakavums zu untersuchen, indem er flüssiges Metall in die Wurzelkanäle schleuderte und die Zähne dann nach der Methode von SPALTEHOLZ "aufhellte". -Neue Resultate in Bezug auf die Anatomie der Wurzelkanäle ergaben diese Untersuchungen nicht.

FEILLER (3) formulierte seine Befunde "Zur Anatomie des Foramen apicale " anders als FISCHER, so daß nicht die "Pulpa die Neigung hat, sich in einzelne Ästchen aufzulösen, sondern die Pulpa am Foramen apicale derartige Mengen von frischen Dentin bildet, daß dadurch eine Teilung in mehrere Äste erfolgt". Er beschrieb weiterhin, daß die Zerklüftung nicht nur am Foramen apicale zu beobachten sei, wie FISCHER behauptete, sondern daß auch die näher der Zahnkrone gelegenen Teile der Wurzel dieselben Arrosionen (gemeint sind Teilungen des Wurzelkanals)

aufwiesen. Manchmal reichten sie fast bis zum Zahnhals, häufig aber bis zum coronalen Drittel der Wurzel.

Verfolgt man die Literatur weiter, so sieht man, daß das Problem der Anatomie der Wurzelkanäle immer wieder aufgegriffen wurde. Vor allem beschäftigte sich auch HESS (10) eingehend mit diesem Thema. Er schreibt:" Die apicalen Verzweigungen liegen in den ersten 4 mm der Spitze; sie bilden das apicale Delta. Die Kanäle können in jeder Höhe der übrigen Wurzel vom Hauptkanal abgehen, und können entweder mit dem seitlichen Periodontium in Verbindung stehen, oder blind enden. Die Wurzelkanäle der unteren ersten Prämolaren sind meist einfach gebaut und entsprechen der Wurzelform. Im jugendlichen Alter ist der Wurzelkanal voluminös. In späteren Altersperioden findet man reduzierte Kanalvolumina mit apicalen Verzweigungen und in verschiedener Höhe abzweigenden Markkanälen. Die zweiten unteren Prämolaren zeigen im allgemeinen ähnliche Verhältnisse wie die ersten, dafür aber sind die Wurzelkanäle etwas geräumiger. Neben den einfach gebauten zylindrischen Kanälen, die sich gegen die Wurzelspitze zu verjüngen, findet man auch eine Zweiteilung des Wurzelkanals. Diese Teilung findet man meist erst in der zweiten Hälfte der Wurzel. Sie zeigt die Form einer Endgabel, wobei sich ein Kanal nochmals teilen kann, so daß dann drei Kanäle vorhanden sind. In den höheren Altersperioden findet eine Reduktion des Kanalvolumens statt, und es treten zahlreiche apicale Äste und Markkanäle auf." HESS fand folgende Zahlenverhältnisse (s. Tabelle I).

Zahn	P_1	P_2
Zahl der untersuchten Zähne	75	65
Ramifikationen	44 %	49 %
Markkanäle	17,3%	20 %
Zweiteilung	2,3%	7,5%
Maxima von Ramifikationen und Markkanälen	3	3

Tabelle I: Ramifikationen, Markkanäle und Zweiteilungen der Wurzelkanäle von unteren Prämolaren nach den Untersuchungen von HESS (10).

Angeregt durch die Arbeiten von FISCHER und HESS nahm ROTTENBILLER (20) zu diesen Fragen Stellung. Sein Untersuchungsmaterial erstreckte sich auf ca. 600 frisch extrahierte Zähne aller Zahngattungen und aller Altersperioden (vom 5. - 60. Lebensjahr). Für die Versuche wurden nur die Zähne verwendet, bei denen die Pulpa makroskopisch noch nicht zerstört war, um so pathologische Einflüsse als Ursache für die unterschiedliche Wurzelkanaltopographie auszuschließen. Für die histologischen Untersuchungen wurden die Zähne nach der Methode von FISCHER und ADLOFF präpariert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

a) Unter 600 Fällen konnten zur zweimal Wurzelkanalramifikationen gefunden werden.

b) Die histologischen Präparate ergaben keine Verzweigungen.

c) Die jugendlichen Zähne (vom 5. bis 16. Lebensjahr) zeigten durchweg ausgesprochen voluminöse Wurzelkanäle.

d) Die Umrisse von Kronen- und Wurzelpulpakavum entsprachen im allgemeinen der äußeren Zahnform.

e) Mit Hilfe der Lupe konnten in keinem Falle Wurzelkanalverzweigungen an der Wurzelspitze oder Markkanäle nachgewiesen werden.

f) Mittels der HESS'schen Versuchsanordnung gelang es nur zweimal, eine doppelte Verzweigung im apicalen Bezirk eines oberen zweiten Molaren zu finden, und nur einmal, die Zweiteilung eines Wurzelkanals an einem oberen zweiten Prämolaren zu sehen.

g) Die Ergebnisse dieses Untersuchungsmaterials wiedersprechen den HESS'schen Angaben, ebenso können sie auch die Resultate FISCHERs nicht bestätigen.

In seiner Epikrise schrieb ROTTENBILLER, daß man unter Ramifikationen des Wurzelkanals nur entwicklungsgeschichtlich entstandene Abzweigungen verstehen sollte, die ihren Ausgangspunkt immer von der Basis des Pulpakavums nehmen, oder aber vom Wurzelkanal mehr oder weniger winklig abzweigen und mit feinen Verästelungen ungefähr in der Richtung der Tubuli dentinales verlaufen. Von mehreren Foramina apicalia dürfe man nur dann sprechen, wenn diese Mündungen die Endpunkte abnormer Wurzelkanälchen darstellen. Weil seine Untersuchungsergebnisse im Gegensatz zu den Befunden von FISCHER und HESS stehen, war er der Ansicht, daß man die Ramifikationen als eine Rasseneigenschaft des

Menschen erklären muß, und daß ihre Entstehungsursache sowohl endogene als auch exogene sein konnte.

LENHOSSEK (12) ging in seinem Buch "Makroskopische Anatomie der Zahnheilkunde" kurz auf Wurzelkanalvariationen der unteren Prämolaren ein. Er fand folgende Beziehungen (s. Tabelle II).

Zahn	P_1	P_2
Ramifikationen	30 %	35 %
Markkanäle	17 %	20 %
Zweiteilung	13 %	--

Tabelle II: Ramifikationen, Markkanäle und Zweiteilungen der Wurzelkanäle unterer Prämolaren nach den Untersuchungen von LENHOSSEK (12)

OKUMURA (17) unternahm anatomische Studien an einem Material von 1337 Zähnen, davon 279 erste und zweite untere Prämolaren. Die besten Resultate erhielt er mit der Aufhellungsmethode. Er fand bei den unteren Prämolaren in 4,6% der Fälle Ramifikationen und in 25% aller Fälle Markkanäle.

Ein Jahr später (1928) beschäftigte sich KELLER (11) mit dem gleichen Problem. Er konnte apicale Verästelungen und Markkanäle an Wurzeln der verschiedensten Zahngattungen beobachten. Kanäle, die teils vom Periost, teils von der Pulpa ausgehend ins Dentin verlaufen und dort blind endigen, bezeichnete er als Zementfisteln. Seine Beobachtungen beschrieb er folgendermaßen: "Erster Prämolar: Der Kanal des Zahnes ist einfach und ziemlich weit. Einige Kanalteilungen kommen vor, ebenso Markkanäle in verschiedener Höhe. Zweiter Prämolar: Auch hier liegen ähnliche Verhältnisse vor wie bei dem ersten. Der Kanal verläuft durch das Astwerk, das mit ihm an verschiedenen Orten in Verbindung steht und sich erst weiter apicalwärts in einem Markkanal und Verästelungen mit dem Periost verbindet. Apicale Verästelungen sind hier häufig, und zwar kommen sie bis zu Vierzahl vor. In einigen Fällen findet man apicale Verästelungen baumartig verzweigt." Die Ergebnisse KELLERs sind in Tabelle III zusammengefaßt.

Zahn	P_1	P_2
Zahl der untersuchten Zähne	47	56
Ramifikationen	44,7%	75 %
Markkanäle	10,6%	14,3%
Zweiteilung	4,3%	5,4%

Tabelle III: Ramifikationen, Markkanäle und Zweiteilungen der Wurzelkanäle unterer Prämolaren nach den Untersuchungen von KELLER (11).

RICHTER(19) gab mit seinen Untersuchungen vor allem für jeden einzelnen Zahn die Zahl der Ramifikationen sowie den Abstand der Mündungen der Kanalverzweigungen vom Apex. Er untersuchte 90 untere Prämolaren und fand bei 60 Ramifikationen (= 66%). Der Autor fasste seine Ergebnisse folgendermaßen zusammen.

a) "Die apicalen Verzweigungen sind in hohem Maße vom Alter abhängig, wie es auch von HESS angegeben wurde. Bei jugendlichen Zähnen sind keine Ramifikationen zu beobachten, während sie bei älteren Zähnen häufig gefunden werden, vor allem bei den Prämolaren.

b) Die hochgelegenen Ramifikationen scheinen im Gegensatz zu den apicalen Verzweigungen vom Alter unabhängig zu sein.

c) Die Weite der Ramifikationen schwankt zwischen 1/50 und 1/2 mm. Der Durchmesser eines hochgelegenen Astes kann größer sein als der des apicalen Hauptkanals".

GREEN (9) untersuchte die Mündungen von Kanälen und Seitenverzweigungen mit einem binocularen Stereomikroskop. Obwohl er Öffnungen bis zu einem Durchmesser von 5 µ beobachten konnte, fand er an den unteren Prämolaren weniger Öffnungen von Kanälchen, als er erwartet hatte. Der Autor unterschied nach der Lage des Foramens zur Wurzelspitze zwei verschiedene Öffnungen. Ein "accesory apical foramen", das höchstens 3,5 mm vom Apex entfernt sein darf, und ein weiter vom Apex entfernt liegendes "lateral canal foramen".
Diese Unterscheidung entstand wohl aus dem Bestreben, die zusätzliche Mündung eines Hauptkanals von einer seitlichen, selbständigen Verbindung zwischen Pulparaum und Periodontium zu trennen.

Nach AMOS'(2) Untersuchungen, die zur gleichen Zeit durchgeführt wurden, war die Wurzelkanalgabelung bei den ersten Prämolaren in 17,9% und bei den zweiten Prämolaren in 2,5% der Fälle zu finden.

Die große praktische Bedeutung der Kenntnisse über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle regte immer wieder zu weiteren Untersuchungen an. So beschäftigte sich auch WAECHTER (22) mit dem gleichen Problem. Er schrieb: "Die Gestalt der Pulpa entspricht im wesentlichen dem Umriß des Zahnes. Der Wurzelkanal kann sich teilen, nach verschieden langen Strecken wieder ein gemeinsames Rohr bilden und an einer Stelle münden. Es kann aber auch die Zweiteilung bis an die Oberfläche der Wurzel erhalten bleiben, und damit können zwei getrennte Mündungen entstehen. Schließlich kommt es auch vor, daß die Kanäle, mit oder ohne vorherige Teilung und Wiedervereinigung, sich an der Wurzelspitze in zahlreiche kleine Mündungen aufteilen. Außerdem gibt es Abzweigungen von den Hauptkanälen der Wurzel, die eine Verbindung zwischen Pulpa und Periodontium herstellen." Beobachtungen von RICKER und DIXON, bei Implantationsversuchen steriler ungefüllter Zähne im Muskel bzw. in der Haut von Kaninchen veranlaßten WAECHTER, nach einem prinzipiellen Unterschied zwischen dem Hauptrohr des Wurzelkanals und den Seitenkanälchen zu suchen. Dabei gibt schon die Betrachtung der Pulpenausgüsse den Hinweis, so schrieb WAECHTER, daß die Seitenkanälchen etwa senkrecht zum Hauptrohr stehen und somit die gleiche Verlaufsrichtung aufweisen wie die Dentinkanälchen. Demnach können auch keine Dentinkanälchen in den Seitenkanal münden. Das Seitenkanälchen müßte seinen Überlegungen zufolge eine feste Wand aus Hartsubstanz besitzen, während die Wand des Hauptkanals durch die unzähligen Mündungen von Dentinkanälchen "porös" ist. Um diese Überlegungen zu beweisen, schnitt er Zahnwurzeln in möglichst lückenloser Serie und färbte sie mit Thioninpikrinsäure. Dabei kam der Autor zu folgenden Ergebnissen:
Wurzelkanalteilungen können wieder zu einer gemeinsamen Mündung zusam-

mentreten. In allen Teilungen des Wurzelkanals (außer im Zementbereich) münden Dentinkanälchen. "Verbindungskanälchen" stellen eine Verbindung zwischen Pulpa und Periodontium (nach heutiger Nomenklatur "Markkanäle") oder eine Querverbindung zwischen zwei getrennten Pulparäumen her. In beiden Fällen laufen diese Verbindungskanälchen parallel zu den Dentinkanälchen und unterscheiden sich dadurch von den Wurzelkanalteilungen.

Das Problem der Seitenkanälchen und der Markkanäle der Pulpa ist auch in neuerer Zeit wieder in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Ausgelöst wurde dieses durch neue Untersuchungen von MEYER und SCHEELE (14), die in mühevoller Arbeit Serienschnitte von Zähnen anfertigten. Diese Autoren stellten fest, daß sich das Foramen apicale bei den Prämolaren nur in etwa 20% der Fälle an der Wurzelspitze befindet, während es bei etwa 80% aller untersuchten Zähne eindeutig in der Seitenwand des Spitzenkegels zu finden war. Dieses Endstück-Foramen ist kein parallelwandiger Rohrstutzen, sondern ein sich nach dem Periodontium hin öffnender Trichter. Über die Seitenkanälchen des Wurzelkanals der unteren Prämolaren berichten die Autoren, daß sie im Bereich der Wurzelspitze so häufig zu finden sind, daß man sagen muß, daß sie die Norm darstellen. Die meisten dieser Seitenkanälchen befinden sich in unmittelbarer Nähe der Wurzelspitze. Zwischen blind endenden Kanälchen (wie HESS und KELLER in ihren Arbeiten berichten) und Ramifikationen konnten die Autoren mit Hilfe der Aufhellungsmethode nicht unterscheiden. MEYER und SCHEELE untersuchten von jeder Zahnart 50 Zähne und erhielten für die unteren Prämolaren folgende Resultate (s. Tabelle IV).

Zahn	P_1	P_2
Ramifikationen	68%	76%
Maximum beobachteter Ramifaktionen	7	11
Maximum beobachteter Markkanäle	4	5

Tabelle IV: Ramifikationen und Markkanäle bei unteren Prämolaren nach den Untersuchungen von MEYER und SCHEELE (14).

Über die von anderen Autoren beobachtete Zweiteilung der unteren Prämolarenwurzeln machten MEYER und SCHEELE keine besonderen Bemerkungen. Zusammenfassend berichteten die Autoren.

a) Der Wurzelkanal ist nicht gerade sondern nach distal gekrümmt, und im apicalen Ende weicht er von dieser allgemeinen Richtung meistens noch weiter nach distal ab.

b) Das Foramen apicale liegt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nicht in der Spitze der Wurzel sondern meistens in der distalen oder disto-oralen Seitenwand des Spitzenkegels.

c) Das Foramen apicale ist nicht ein parallelwandiger Rohrstutzen, sondern ein zum Periodontium hin sich breit öffnender Trichter.

d) Die allgemeine Gestalt des Wurzelkanals ist einförmig rund.

e) Das Ende des Wurzelkanals ist nicht regelmäßig ein solitäres Foramen; vielmehr sind in über 70% aller Zähne im Apex-Gebiet Seitenkanälchen, Ramifikationen des Hauptkanals vorhanden.

f) Alle Foramina, gleichgültig, ob sie sich am Apex, in der Seitenwand der Apexregion oder im Gebiet der Bifurkation befinden, liegen im Zement.

Im "Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde" führen WALKHOFF-HESS (21) folgende Resultate an (s. Tabelle V).

Zahn	P_1	P_2
Ramifikationen	40%	49 %
Markkanäle	17%	20 %
Zweiteilung	13%	7,3%

Tabelle V: Ramifikationen, Markkanäle und Zweiteilung der Wurzelkanäle bei unteren Prämolaren nach WALKHOFF-HESS (21) (Vergl. Tab.I)

Die Variationen und Anomalien der unteren Prämolarenwurzeln wurden kürzlich von FERENCZY (4) röntgenologisch untersucht. Er beschrieb seine Beobachtungen folgendermaßen:" Die Wurzel des P_1 ist in etwa zwei Drittel der Fälle, die des P_2 in einem Drittel der Fälle differenziert. Wenn die unteren Prämolaren zwei- oder dreiwurzelig sind, kann die Richtung der Wurzel Konvergenz, Parallelität oder Divergenz aufweisen. Zweiwurzelige untere Prämolaren sind im Vergleich zur Gabelung des Wurzelkanals viel seltener. Die dreiwurzeligen kommen äußerst selten vor, wahrscheinlich deswegen, weil im Unterkiefer die Differenzierung der Zähne in mesiolingualer Richtung vor sich geht, im Gegensatz zum Oberkiefer, wo genügend Platz auch für eine buccopalatinale Differenzierung vorhanden ist." FERENCZY untersuchte 500 einwurzelige untere erste und zweite Prämolaren und fand folgende Resultate (s. Tabelle VI).

Zahn	P_1	P_2
Zahl der untersuchten Zähne	500	
Wurzeldifferenzierung	66 %	33 %
Zweiteilung des Wurzelkanales	13,1%	1,18%
Zweiwurzelige Zähne	1,6%	3,4 %
Dreiwurzelige Zähne	0	0,8 %

Tabelle VI: Wurzeldifferenzierung und Zweiteilung des Wurzelkanales der unteren Prämolaren nach den röntgenologischen Untersuchungen von FERENCZY (4).

GARUS (8) bezeichnete in seiner Arbeit als Seitenkanälchen oder Ramifikationen jeden von der Wurzelpulpa abzweigenden Ast innerhalb der apicalen Region, als Markkanäle solche Äste, die mehr oder weniger rechtwinklig zum

Wurzelpulpenstrang Zahnbein und Zement durchsetzen und sich coronalwärts der apicalen Region finden. Als Querbrücken bezeichnete er rudimentäre Verbindungen zwischen geteilten Kanälen. Er untersuchte 34 erste und 33 zweite untere Prämolaren (s. Tabelle VII).

Zahn	P_1	P_2
Zahl der untersuchten Zähne	34	33
Ramifikationen	82%	54%
Markkanäle	3%	12%
Zweiteilung	26%	9%
Querbrücken	15%	3%

Tabelle VII: Ramifikationen, Markkanäle, Zweiteilung und Querbrücken des Wurzelkanales der unteren Prämolaren nach den Untersuchungen von GARUS (8).

WEYMAN (23) berichtete, daß die Markkanäle nicht immer die Form von Kanülen zeigen, sondern daß sie sich zu einem Hohlraumsystem entwickeln können. Sie zweigten bei seinen Präparaten 1,5 mm, 1,7 mm und 2,7 mm vor dem Foramen apicale von der Pulpa ab. Im Gegensatz dazu fand MEYER Abzweigungen bis zu 5,5 mm und LENHOSSEK bis zu 8 mm vor der Wurzelspitze. Nach ihrer Meinung scheint weder anatomisch noch physiologisch ein Unterschied zu den Pulpo-Periodontalkanälen zu bestehen, die bei mehrwurzeligen Zähnen vom Pulpacavum zum Periost der Bifurkation verlaufen.

Zusammenfassend ist aus der Literaturübersicht festzustellen: Ramifikationen, Markkanäle und Zweiteilungen der Wurzelkanäle der unteren Prämolaren im Unterkiefer sind nach den angeführten Untersu-

chungen (s. Tabelle X, S. 37) gut bekannt. Nicht einheitlich ist im bisherigen Schrifttum die Nomenklatur und damit auch eine Klassifizierung der möglichen Pulpaformen. Eine direkte Kommunikation der Kronenpulpa mit dem Parodontium im Bereich der Wurzelbifurkation sollte als Pulpoperiodontalkanal bezeichnet werden. Das trifft nur für mehrwurzelige Zähne zu. Prinzipiell unterscheiden sich diese Pulpoperiodontalkanäle nicht von den Markkanälen, unter denen man Abzweigungen der Pulpa im Verlauf der beiden coronalen Wurzeldrittel versteht. Diese Kanäle verläufen in der Mehrzahl rechtwinklig zum Hauptpulpastrang, nur selten bilden sie einen spitzen Winkel dazu. In einer großen Zahl von Fällen ist im apicalen Wurzeldrittel eine Vielzahl von kleinen und kleinsten Seitenkanälchen zu beobachten. Sie zweigen stets aus dem Pulpacavum ab und durchziehen die Wurzelspitze radiär. Eine andere, kaum abgrenzbare Variante stellt die vollständige Auffaserung des Pulpastranges im apicalen Wurzeldrittel in viele kleine Kanälchen dar. Diese Art der Verzweigungen werden allgemein als apicale Ramifikationen bezeichnet. Von diesen anatomischen Eigenarten sind geteilte Pulpakanäle zu unterscheiden. Zwischen diesen können Querverbindungen bestehen.

MATERIAL UND METHODE

1.) Untersuchungsmaterial:

Für unsere Untersuchungen verwendeten wir 150 menschliche Zähne (die Zähne stammen zur Hälfte aus Griechenland aus der Stadt Alexandroupolis, der andere Teil aus Tübingen und Umgebung). Von diesen waren 70 erste und 80 zweite untere Prämolaren. Außerdem werteten wir 4 000 Röntgenbilder aus, und zwar je 2 000 von ersten und zweiten unteren Prämolaren. (Das Röntgenmaterial stammt aus der Röntgenabteilung des Zahnärztlichen Institutes der Universität Tübingen).

2.) Untersuchungsmethode:

Die wichtigsten Methoden, die auf dem Wege über den mazerierten und künstlich gefüllten Pulpenraum zum Studium der feineren dentalen Anatomie beigetragen haben, sind folgende:

a) Korrosionsmethode (Woodmetall) PREISWERK, ADLOFF
b) Histologische Methode: FISCHER, MEYER
c) Aufhellungsmethode: HESS, KELLER

Eigene Untersuchungsmethode

In den vorliegenden Untersuchungen wurde die Aufhellungsmethode angewandt.

Die Pulpakammer der Zähne wurde eröffnet und der Wurzelkanaleingang vorsichtig mit einem feinen Rosenbohrer freigelegt. Mit einer feinen, gezahnten Nadel extirpierten wir die Wurzelpulpa. Danach wurden die Zähne in einer 2%igen Ätzkalilösung zwei Minuten lang gekocht, langsam abgekühlt, mit kaltem Wasser und einer Zahnbürste von der durch das Kochen abgelösten Wurzelhaut restlos befreit und für ca. 20 Stunden in fließendes Wasser überführt.

In die feuchten Wurzelkanäle wurde nun Perltusche mit Hilfe feinster Millersonden eingepumpt. Die so behandelten Zähne brachten wir in einen mit Perltusche gefüllten Erlenmeyerkolben und kochten sie 15 Minuten lang im Wasserbad. Auf diese Weise wurde etwa noch im Kanalsystem vorhandene Luft ausgetrieben, die bei bloßer Sondierung der Tusche in die Kanäle oft ein weiteres Eindringen besonders in Kanalanastomosen verhindert. (Frisch extrahierte, nicht ausgetrocknete Zähne können gleich so behandelt werden. Kann die Bearbeitung der Präparate nicht bald nach der Extraktion erfolgen, so empfiehlt sich Aufbewahren in 4%igem Formalin, um eine Austrocknung zu vermeiden. Vollkommen ausgetrocknete Zähne zeigen eine Vielzahl mikrosko-

pisch feiner Sprünge im Wurzelelement, die sich bei Anwendung dieser Methode mit Tusche füllen, sich nicht von ihr befreien lassen und später nach dem Aufhellen größte Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Ramifikationen bereiten).

Die Zähne wurden dann aus der Tusche genommen und für etwa eine 3/4 Stunde in ca. 5%iges Alaunwasser gelegt. Dadurch wurde die Tusche auch im Kanalsystem koaguliert und verhindert, daß sie bei der nachfolgenden Reinigungsprozedur mit Wasser, Seife und Zahnbürste wieder herausgeschwemmt würde.

Die sorgfältig gereinigten Präparate trockneten wir im Brutschrank bei 37^0 C, nach 48 Stunden überführten wir die Zähne zur Entkalkung, Fixierung und Bleichung in eine Lösung aus 5% Salzsäure, 10% Formalin und 10% Wasserstoffsuperoxyd. In ihr verblieben sie solange, bis keine Gasblasen und Schlieren mehr auftraten. Das war in der Regel nach ca. 7 Tagen der Fall. Nach gründlichem Wässern wurden die Präparate in 5%iges Natriumbikarbonatwasser gelegt, das innerhalb von 48 Stunden mehrmals gewechselt wurde. (Alle 6 Stunden wurde die Lösung erneuert). Nun erfolgte die Entwässerung durch aufsteigende Alkoholreihe. Die Aufhellung der derart behandelten Präparate wurde mit Tetralin innerhalb von 8 Stunden erreicht.

Die Vorteile dieser Methode zur Darstellung des Kanalsystems gegenüber anderen Verfahren sind folgende:

a) Die Beziehungen des Kanalsystems zum Gesamtzahn bleiben im Gegensatz zur Korrosionstechnik erhalten, da die Zahnsubstanz nicht völlig aufgelöst wird.

b) Die Gesamttopographie ist im Gegensatz zur Schliff- und Schnittechnik mit einem Blick zu erkennen.

c) Die Präparate können im Gegensatz zu den Korrosionspräparaten nicht durch Abbrechen, Verbiegen oder Auflösung feinster Ästchen fehlerhaft werden.

d) Es besteht die Möglichkeit im Gegensatz zur Korrosionstechnik, die fertigen Präparate durch Zerlegung in Serienschnitte daraufhin histologisch nachzuuntersuchen, ob auch alle Hohlräume wirklich durch diese Makromethode dargestellt worden sind.

ERGEBNISSE

1.) Untersuchungen mit der Aufhellungsmethode

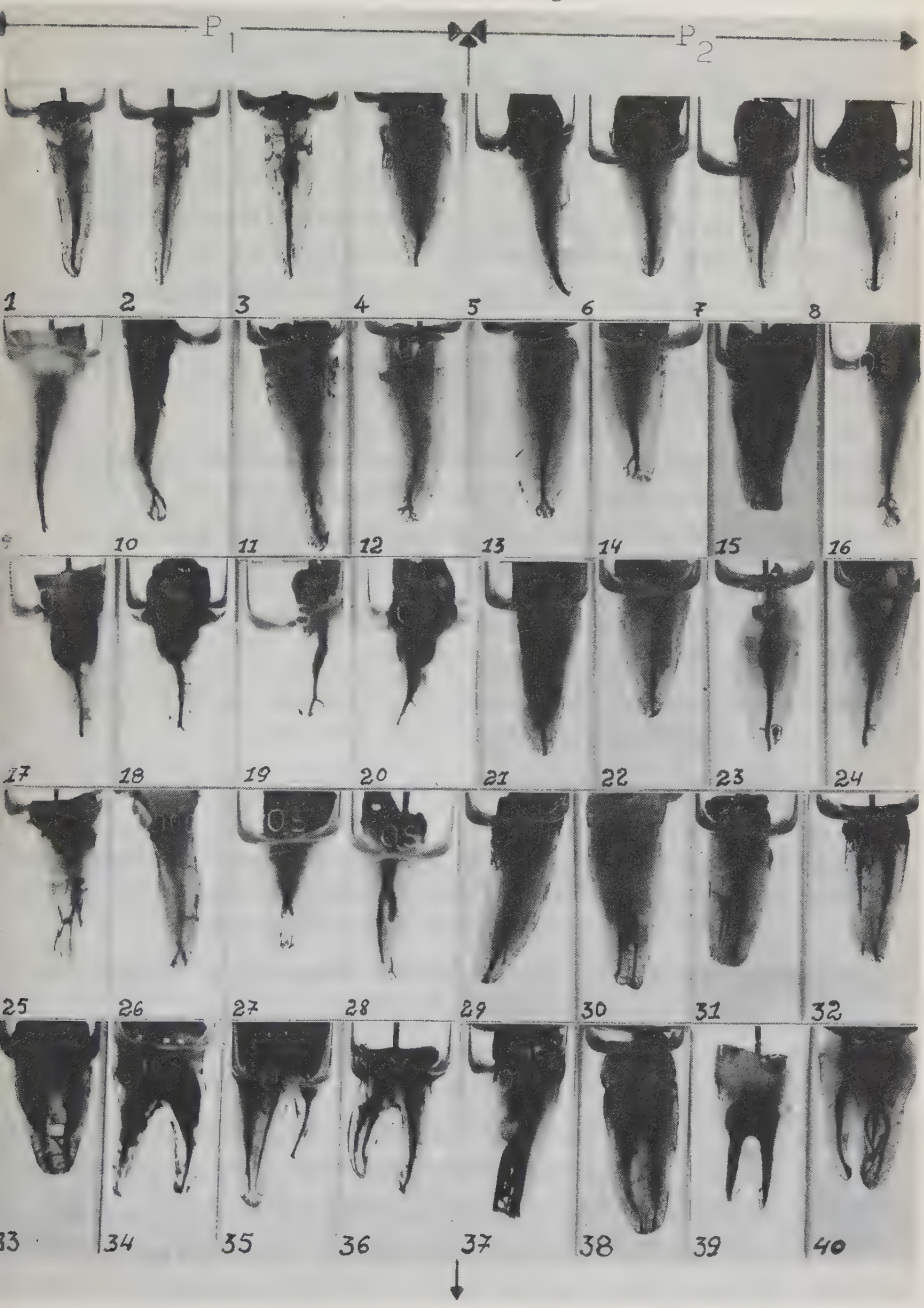
Die hier untersuchten 70 ersten und 80 zweiten unteren menschlichen Prämolaren ließen verschiedenartige Wurzelkanalverhältnisse erkennen. Diese sind in der folgenden Tabelle VIII zahlenmäßig zusammengefasst.

Zahn		P_1	P_2
Zahl der untersuchten Zähne		70	80
Ramifikationen		47,1 %	53,75%
Markkanäle		42,85%	42,5 %
Zweiteilung		20 %	27,5 %
Querbrücken		11,4 %	13,75%
Sitz des Foramen apicale	Spitze	60 %	45 %
	Seitenwand	40 %	55 %

Tabelle VIII: Ramifikationen, Markkanäle, Zweiteilung und Querbrücken des Wurzelkanales der unteren Prämolaren, sowie Sitz des Foramen apicale nach eigenen Untersuchungen.

Mit den folgenden Abbildungen wird eine Auswahl der verschiedenen anatomischen Wurzelkanalverhältnisse wiedergegeben. Es wurde versucht, Gruppen (A-E) nach der Kompliziertheit des Wurzelkanalsystems zu bilden.

Abbildungen



ERLÄUTERUNGEN ZU DEN ABBILDUNGEN

Gruppe A: Einfache (normale) Wurzelkanäle:
Die Abbildungen 1 bis 4 (erste Prämolaren) und 5 bis 8 (zweite Prämolaren) zeigen unkomplizierte Wurzelkanäle.

Gruppe B: Ramifikationen:

Abb.9 =P_1: Zeigt einen unkomplizierten Wurzelkanal mit einer nach mesial gerichteten Ramifikation im Apexbereich.

Abb.10=P_1: Sehr weiter Wurzelkanal bis zum mittleren Wurzeldrittel, drei Rami die nach mesial, distal und buccal gerichtet sind.

Abb.11=P_1: Drei feinere und zwei starke Rami, ein kurzer Markkanal am mittleren Wurzeldrittel.

Abb.12=P_1: Enger, nach distal gekrümmter Wurzelkanal mit acht Rami, die nach allen Richtungen verlaufen.

Abb.13=P_2: Drei Rami. Man sieht an diesem Präparat deutlich, wie die Tusche auch in die Dentinkanälchen eingedrungen ist.

Abb.14=P_2: Drei Hauptrami. Der nach mesial gerichtete teilt sich in vier weitere feine Äste, die nach distal gerichteten in drei Rami.

Abb.15=P_2: Sehr breiter Wurzelkanal. Der distale und der mesiale Ramus unterteilen sich noch in feinere Ästchen.

Abb.16=P_2: Sehr enger Wurzelkanal mit sieben Ramifikationen.

Gruppe C: Markkanäle:

Abb.17=P_1: Zwei senkrecht zum Hauptkanal verlaufende Markkanäle an der Grenze zwischen mittlerem und apicalem Wurzeldrittel. Einer ist nach buccal, der andere nach mesial gerichtet.

Abb.18=P_1: Sehr erweitertes Pulpacavum mit schmalem Wurzelkanal. Ein Markkanal im mittleren Drittel und ein Ramus am Apex.

Abb.19=P_1: S-förmig verlaufender Wurzelkanal mit einem Markkanal im apicalen Drittel.

Abb.20=P_1: Zwei Markkanäle, der eine im mittleren, der andere im apicalen Drittel, die den Hauptkanal in einem Winkel von 60^0 verlassen.

Abb.21=P_2: Bis zur Grenze von mittlerem und apicalem Drittel sind die Dentinkanälchen mit Tusche gefüllt. Im apicalen Drittel zieht

ein Markkanal zuerst nach mesial und biegt dann nach coronal ab.

Abb.22=P_2: Unkomplizierter Verlauf des Wurzelkanals, jedoch im apicalen Drittel gehen in gleicher Höhe zwei Markkanäle ab. Einer nach buccal, der andere nach distolingual.

Abb.23=P_2: Ein Markkanal senkrecht zum Hauptkanal, eine Ramifikation.

Abb.24=P_2: Vier Markkanäle, einer im mittleren Drittel, der nach buccal verläuft, und drei im apicalen Drittel, von denen zwei nach mesial und der Dritte nach buccal gerichtet sind.

Gruppe D: Einwurzelige Zähne mit Gabelung:

Abb.25=P_1: Im mittleren Drittel zwei grob nach buccal gerichtete Markkanäle und eine Gabelung nach bucco-mesial, die fast bis zur Zement-Dentingrenze reicht. Der Hauptkanal verläuft weiter und gibt an der Grenze vom mittleren zum apicalen Drittel noch einen Markkanal nach distal ab. Dieser Markkanal gabelt sich in einen nach coronal, und einen nach apical gerichteten Ast auf, der bis zum Apex reicht. Am Apex gibt der Hauptkanal nocht einen nach mesial gerichteten Ramus ab. In der Mitte der Wurzelspitze ist eine feinere Ramifikation sichtbar.

Abb.26=P_1: Im mittleren Drittel eine Dentininsel, sowie ein senkrecht nach buccal gerichteter Markkanal, der bis zur Zement-Dentingrenze reicht. Am Apex ein charakteristisches apicales Delta.

Abb.27=P_1: Gabelung im mittleren Drittel, an der Wurzelspitze zahlreiche Ramifikationen.

Abb.28=P_1: Gabelung im coronalen Drittel. Der mesiale Ast endet kurz nach der Abzweigung, der distale reicht nicht bis zur Wurzelspitze, am Apex zwei Ramifikationen.

Abb.29=P_2: Eine nach mesial-apical verlaufende Gabelung im mittleren Drittel, am Apex zwei Ramifikationen.

Abb.30=P_2: Gabelung im mittleren Drittel. Die Äste verlaufen bis zum Apex parallel. Der mesiale Ast gibt an der Wurzelspitze zwei Ramifikationen ab.

Abb.31=P_2: Gabelung im mittleren Drittel. Der nach distal abzweigende Ast teilt sich nochmals in zwei Äste, die parallel bis zum Apex verlaufen. Der Hauptast gibt einen Ramus ab.

Abb.32=P_2: Gabelung im coronalen Drittel. Die Verzweigungsäste verlaufen parallel bis zum Apex. Der mesiale Ast gibt drei Ramifikationen ab. Zwischen den beiden Ästen zwei Dentininseln.

Gruppe E : Zweiwurzelige Zähne mit Gabelung und Querbrücken:

Abb.33=P_1: Zwei nicht vollständig getrennte Wurzeln, die durch zahlreiche Querbrücken miteinander verbunden sind.

Abb.34=P_1: Zwei Wurzeln, von denen die distale zwei Markkanäle erkennen läßt.

Abb.35=P_1: Zwei Wurzeln, davon eine längere Hauptwurzel, die sich im coronalen Drittel gabelt. Die beiden Äste verlaufen bis zum apicalen Drittel parallel und sind dort durch eine Querbrücke miteinander verbunden. Der distale Ast gibt im coronalen und apicalen Drittel je einen Markkanal ab. Die zweite Wurzel ist wesentlich kürzer und zeigt unkomplizierten Verlauf.

Abb.36=P_1: Zwei Wurzeln, eine unkomplizierte mesiolinguale, und eine distobuccale, deren Kanal sich im coronalen Drittel gabelt. Beide Äste verlaufen parallel bis zur Wurzelspitze.

Abb.37=P_2: Wie Abb.33, jedoch ist der Kanal der mesialen Wurzel stärker ausgebildet und gibt am Apex Ramifikationen ab.

Abb.38=P_2: Wie Abb.33, jedoch sind die Kanäle der beiden Wurzeln nicht durch Querbrücken verbunden.

Abb.39=P_2: Zwei Wurzeln, die sich erst im apicalen Drittel vollständig trennen. Die Wurzelkanäle verlaufen parallel. Der mesiale Wurzelkanal gibt im apicalen Drittel einen Markkanal ab.

Abb.40=P_2: Zwei Wurzeln, eine schmale, unkomplizierte distobuccale und eine mesiolinguale, deren Wurzelkanal sich im mittleren Drittel in drei Äste teilt. Der mittlere Ast endet an der Grenze des apicalen Drittels. Der mesiale Ast verzweigt sich im mittleren Drittel. Diese beiden Äste geben jeweils am Apex Ramifikationen ab. Der distale Ast zieht nach mesial und mündet an der Grenze des apicalen Drittels in den mesialen Ast.

2.) Röntgenologische Untersuchungen an unteren Prämolaren

Auch Röntgenbilder lassen grobe Abweichungen von der Norm erkennen, soweit sie die Anzahl der Wurzeln und die Lokalisation der Wurzelka-

nalteilung betreffen. Aus diesen Gründen wurden zur Unterstützung der Befunde 4 000 Röntgenbilder von unteren Prämolaren untersucht.

Der einfache Wurzelkanal eines unteren Prämolaren wird im Röntgenbild meist als die Fortsetzung der kanalförmigen Pulpahöhle, und als ein sich gegen die Wurzelspitze zu gleichmäßig verengernder Kanal sichtbar (s. Abb. 41). Der bucco-linguale Durchmesser ist größer als der mesio-distale, dementsprechend ist auch die Pulpahöhle in buccolingualer Richtung geräumiger als in mesiodistaler Richtung. An der Oberfläche einer differenzierten Wurzel kann man verschieden tiefe Furchen beobachten. Die Furchenbildung ist meist an der mesialen Fläche vorhanden. Gelegentlich kann es vorkommen, daß auch die buccalen und distalen Flächen gefurcht sind. Die Furchen der mesialen und distalen Wurzelflächen können auch im Röntgenbild erkennbar sein, sofern sie genügend tief ausgeprägt sind. In solchen Fällen kann man zwischen dem sich scharf projizierenden Wurzelrand und dem Wurzelkanal eine der Furche entsprechende dunkle Linie wahrnehmen. Diese Furchenlinie, die manchmal irrtümlicherweise als ein Wurzelkanal gedeutet werden könnte, beginnt in der Gegend des Zahnhalses und verwischt sich meist im apicalen Drittel der Wurzel (s. Abb. 42). Ist die Furchenlinie im Röntgenbild sichtbar, so ist meist auch eine Gabelung des Wurzelkanals vorhanden. Da sich die Furche der buccalen Fläche in den Körper der Wurzel hineinprojiziert, ist sie im Röntgenbild nicht sichtbar. Diese Vertiefung der Furchen, kann zur Ausbildung einer weiteren Wurzel führen, so daß zwei enge mesial-distal gelegene Wurzelkanaläste entstehen können. Meistens verlaufen die beiden Äste unmittelbar nebeneinander. Die Zeichnung der Äste kann man nicht bis zur Wurzelspitze verfolgen. In einigen Fällen kann beobachtet werden, daß sie sich an der Wurzelspitze wieder vereinigen (s. Abb. 43).

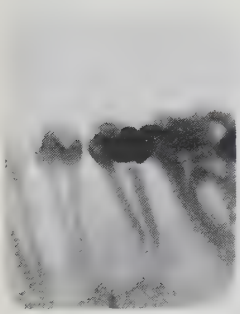


Abb. 41

Abb. 42

Abb. 43

Abb. 41: Die Pulpahöhle des P_1 und P_2 ist kanalförmig, der Wurzelkanal stellt sich als eine gleichmäßige Fortsetzung derselben dar.

Abb. 42: An der mesialen Wurzelfläche des P_1 ist eine sich deutlich projizierende Furchenlinie sichtbar. Der Wurzelkanal weist Gabelung auf.

Abb. 43: Der Wurzelkanal des P_1 zeigt eine mesiale und eine distale Gabelung, die sich an der Wurzelspitze wieder annähern.

Die Bifurkation kann in verschiedener Höhe des Wurzelkanals liegen. So stellten wir fest, daß sie beim ersten Prämolaren in der größeren Zahl der Fälle im mittleren Drittel liegt. Nach der Häufigkeit folgt dann die Bifurkation im apicalen Drittel. Beim zweiten Prämolaren liegt die Bifurkationsstelle umgekehrt wie beim ersten Prämolaren. Ganz selten findet sie sich im coronalen Drittel (s. Abbildungen 44-47).

Abb. 44

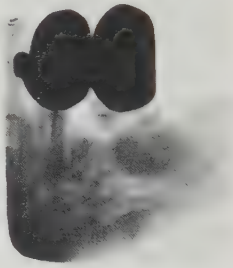


Abb. 45

Abb. 46

Abb. 47

Abb. 44: Der Wurzelkanal des P_1 weist im mittleren Drittel der Wurzel eine Gabelung auf, der des P_2 im coronalen Drittel.

Abb. 45: Der Wurzelkanal des P_2 zeigt im mittleren Drittel der Wurzel eine Gabelung.

Abb. 46: Gabelung im apicalen Drittel des P_1.

Abb. 47: Teilung des Wurzelkanals im apicalen Drittel des P_2.

Diese für Gabelungen der Wurzelkanäle charakteristischen Röntgenbilder weichen von denen oberer Prämolaren mit doppeltem Wurzelkanal durchaus ab. Bei ihnen liegt die Verästelung des Wurzelkanales viel näher am Kronenpulpacavum. Auf einer orthoradialen Röntgenaufnahme ist sie oft kaum sichtbar, da die buccalen und palatinalen Wurzelkanäle übereinanderprojiziert werden.
Die Bifurkation des Wurzelkanales kommt wesentlich öfter vor, als die Entstehung von zwei bzw. drei Wurzeln. Die Furchenbildung kann als eine Vorstufe der Wurzelspaltung angesehen werden. Das Extrem ist die Trennung der Wurzel in eine mesiale und eine distale Hälfte (s. Abb. 48). Am Röntgenbild sind die beiden Wurzeln nebeneinander sichtbar. Entsprechend FERENCZY (4) haben auch wir feststellen können, daß die Richtung der Wurzeln bei den zweiwurzeligen unteren Prämolaren eine konvergent, parallel oder divergent sein kann.

Das Ausmaß der Spaltung wird durch das Röntgenbild gut veranschaulicht. Einen Überblick über die Konvergenz, Parallelität und Divergenz der Wurzeln geben die Abbildungen 43, 49 und 50.

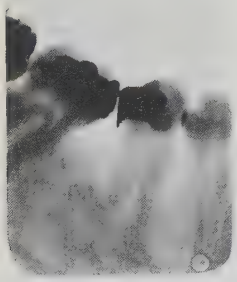


Abb. 48

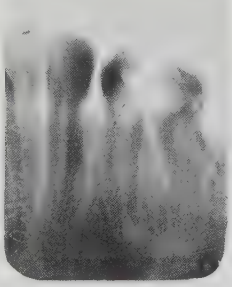


Abb. 49

Abb. 50

Abb. 48: Zweiwurzeliger P_2. Die mesiale Wurzel zeichnet sich etwas länger als die distale.

Abb. 49: Die Wurzeln eines zweiwurzeligen P_1 verlaufen parallel. (Womöglich liegt hier eine dritte, lingual gelegene Wurzel vor).

Abb. 50: Die Wurzeln eines zweiwurzeligen P_1 zeigen Divergenz.

Unsere röntgenologischen Untersuchungen sind in der Tabelle IX zusammengefasst.

Zahn	P_1	P_2
Zahl der untersuchten Rö-Bilder	2000	2000
Insgesamt Gabelung	227=11,35%	72=3,6 %
Gabelung im coronalen Drittel	6= 0,3 %	7=0,35%
Gabelung im mittleren Drittel	152= 7,6 %	13=0,65%
Gabelung im apicalen Drittel	69= 3,45%	52=2,6 %
Zweiwurzelige Zähne	56= 2,8 %	29=1,45%

Tabelle IX: Zweiteilung des Wurzelkanales im coronalen, mittleren und apicalen Drittel, sowie zweiwurzelige Zähne der unteren Prämolaren, nach eigenen röntgenologischen Untersuchungen.

Durch Röntgenuntersuchung lässt sich auch feststellen, in welchem Prozentsatz sich bei ein und demselben Individuum die einzelnen Wurzelkanalvarianten am ersten und am zweiten Prämolaren finden. Bei der gleichen Person sind alle denkbaren Kombinationen normaler und abweichender Formen der beiden unteren Prämolaren zu beobachten. Wir konnten folgende Komplikationen feststellen: (Zahlenangaben sind jedoch aus dem vorliegenden Material nicht mit der nötigen Sicherheit möglich).

a) Zweiteilung des Wurzelkanales von P_1 und einfacher Wurzelkanal des P_2 (s. Abb. 51).

b) Einfacher Wurzelkanal des P_1 und Zweiteilung des Wurzelkanales des P_2 (s. Abb. 52).

c) Zweiteilung des Wurzelkanales von P_1 und P_2 (s. Abb. 44).

d) Einfacher Wurzelkanal bei P_1 und zweiwurzeliger P_2 (s. Abb. 53).

e) Zweiteilung des Wurzelkanales von P_1 und zweiwurzeliger P_2 (s. Abb. 54).

f) Zweiwurzeliger P_1 und einfacher Wurzelkanal bei P_2 (s. Abb. 55).

g) Zweiwurzeliger P_1 und zweiwurzeliger P_2 (s. Abb. 56).

Abb. 51

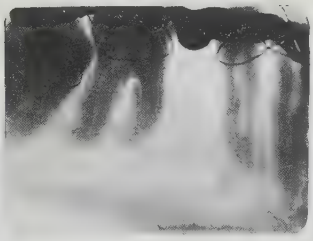


Abb. 52

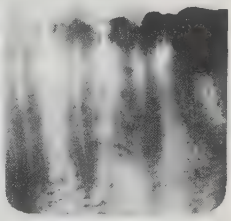


Abb. 53

Abb. 54

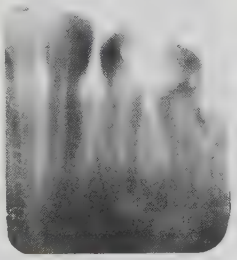


Abb. 55

Abb. 56

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Wurzelkanäle der unteren ersten Prämolaren sind einfach gebaut und entsprechen der Wurzelform. Der Sitz des Foramen apicale findet sich in 60% der Fälle an der Wurzelspitze und in 40% in der Seitenwand. MEYER-SCHEELE (14) fanden, daß es sich bei den unteren Prämolaren in 80 % der Fälle eindeutig in der Seitenwand des Spitzenkegels befindet. Die Ramifikationen sind hier häufig zu finden, und es kommen bis zu 8 vor. RICHTER (19) fand bis zu 9 Ramifikationen, MEYER-SCHEELE (14) bis zu 7. Markkanäle können häufig gefunden werden, in verschiedener Höhe vom Apex, meist aber in der mittleren Wurzelspitze. Sie verlaufen senkrecht zur Richtung des Wurzelkanals Gabelung ist ebenfalls ein häufig zu beobachtendes Phänomen, und findet in verschiedener Höhe statt. Die Gabelungskanäle verlaufen entweder parallel zum Hauptkanal, oder konvergieren apicalwärts, wobei sie zahlreiche Querbrücken bilden können.

Auch bei den zweiten Prämolaren findet man ähnliche Verhältnisse wie bei den ersten. Apicale Verästelungen sind hier häufiger zu finden als beim ersten Prämolaren und zwar bis zu 7. KELLER (11) fand maximal 4 Ramifikationen, MEYER-SCHEELE (14) dagegen bis zu 11. Das Foramen apicale findet sich hier nur in 45% der Fälle an der Wurzelspitze und sonst in der Seitenwand. Eine zusammenfassende Statistik einiger Autoren über das Vorkommen von apicalen Ramifikationen, Markkanälen und Wurzelgabelung bei ersten und zweiten unteren Prämolaren, verglichen mit den Resultaten der eigenen Untersuchungen ist in der Tabelle X, Seite 27 zusammengestellt.

Ein gewisser Nachteil unserer Untersuchungen liegt darin, daß wir die Zähne nicht nach Altersklassen einteilen konnten, wie dies z.B. HESS (10) tat. Das Kanalsystem unterliegt aber im Laufe der Jahre altersbedingten, physiologischen Veränderungen. Untersucht man diesen Einfluß des Alters auf Form und Verlauf der Wurzelkanäle, so zeigt sich, daß die Wurzelkanäle im jugendlichen Alter sehr voluminös sind, und daß sie kaum Komplikationen im Feinbau aufweisen, so lange das Foramen apicale noch nicht geschlossen ist. Deshalb müssen die prozentualen Verhältnisse der apicalen Ramifikationen und Markkanäle bei uns andere Werte aufweisen als die anderer Autoren. (Vgl. Tabelle X).

Besonders bemerkenswert sind die erheblich abweichenden Prozentzahlen über die Gabelung der Wurzelkanäle die experimentell röntgenologisch beobachtet wurden. Während röntgenologisch die Zahlen der Zweiteilung der Wurzelkanäle beim ersten Prämolaren bei 11,35% und beim zweiten Prämolaren bei 3,6% liegen, belaufen sich die Werte bei makroskopischer Untersuchung auf 20% und 27,5%. Dieser erhebliche Unterschied könnte folgendermaßen erklärt werden:

Autor		MEYER	WALKHOFF-HESS	GARUS	LENHOSSEK	HESS	KELLER	EIGENE
Erster Prämolar	N	50	--	34	--	75	47	70
	R	68 %	40 %	82 %	30 %	44 %	47 %	47,1 %
	M	--	17 %	3 %	17 %	17,3 %	10,6 %	42,85 %
	G	--	13 %	26 %	13 %	2,3 %	4,3 %	20 %
	Q	--	--	15 %	--	--	--	11,4 %
Zweiter Prämolar	N	50	--	33	--	65	56	80
	R	76 %	49 %	54 %	35 %	49 %	75 %	53,75 %
	M	--	20 %	12 %	20 %	20 %	14,3 %	42,5 %
	G	--	7,3 %	9 %	--	7,5 %	5,4 %	27,5 %
	Q	--	--	3 %	--	--	--	13,75 %

Tabelle X: Zusammenfassende Übersicht

R= Ramifikationen
M= Markkanäle
G= Geteilte Wurzelkanäle
Q= Querverbindungen
N= Zahl der untersuchten Zähne
-- = Angaben der Autoren fehlen hier

a) Nach statistischen Gesichtspunkten wird der zufallsbedingte Fehler mit ansteigender Zahl der Untersuchungsobjekte geringer. Danach konnte vermutet werden, daß die höheren Prozentzahlen bei den makroskopischen Präparaten mit erheblicher Irrtumswahrscheinlichkeit behaftet sind und zu hoch liegen.

b) Andererseits muß aber berücksichtigt werden, daß bei der röntgenologischen Batrachtung infolge röntgendiagnostischer Irrtumsmöglichkeiten tatsächlich vorhandene Gabelungen nicht erkannt wurden. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß diese Befunde ebenfalls kein wahres Bild über den Durchschnitt ergeben. Er muß als zu niedrig angenommen werden.

Werden unsere röntgenologischen Befunde mit denen anderer Autoren (FERENCZY (4), AMOS(2) und KELLER (11) verglichen, so kann festgestellt werden, daß sie nicht wesentlich von diesen abweichen. Natürlich haften den anatomischen Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen Mängel an, die man nicht außer Acht lassen darf. Das Übereinanderprojizieren und die Unmöglichkeit einer mehr als zweidimensionalen Beobachtungsweise setzen der Darstellung anatomischer Gegebenheiten der Wurzeln gewisse Schranken. Sicher bleibt jedoch, daß bei sorgfältiger Betrachtung in vielen Fällen zwei- bzw. dreiwurzelige Zähne sowie Wurzelkanalgabelungen in verschiedener Höhe vom Apex unterschieden werden können.
Demgegenüber hat auch die Röntgenuntersuchung manche Vorteile, da man einerseits ein beträchtliches Material durchforschen kann, andererseits in der Lage ist, bei ein und demselben Individuum die Variationen und Anomalien der unteren Prämolaren zu bestimmen. Solche Untersuchungen können an extrahierten Zähnen nur in wesentlich geringerem Maße durchgeführt werden. Die Angaben die sich auf Prämolaren einer Seite ein und desselben Individuums beziehen, können auch bilateral symmetrisch vorkommen. AMOS(2) hat in 11,4% der Fälle eine beiderseitige Gabelung des P_1 beobachten können. Die Vielfältigkeit der Kombinationsmöglichkeit dieser Variationen und Anomalien beweist, daß die Differenzierung der Wurzeln unterer Prämolaren in den verschiedensten Abstufungen vorhanden sein kann.

Die Prüfung der Wurzeldifferenzierung spielt auch von dem Gesichtspunkt aus eine interessante Rolle, wie sich diese in Bezug auf die Krone verhält. Die Differenzierung der Krone unterer Prämolaren ist eine häufige Erscheinung, mit welcher sich AMOS (2) eingehend befasst hat. Im allgemeinen kann ein Zusammenhang zwischen der Differenzierung der Kronen und der Entwicklung der Wurzel festgestellt werden, wozu der zweite obere Molar als Beispiel dient, bei dem die zweigliedrige Wurzelstruktur mit der Reduktion des distolingualen Höckers in Verbindung steht. Nach AMOS (2) kommt aber bei den unteren Prä-

molaren die Differenzierung der Kronen seltener vor als die der Wurzeln. Dies weist darauf hin, daß durch die Wurzelstruktur auch solche morphologischen Eigentümlichkeiten erhalten bleiben können, die an den Kronen keinen Ausdruck mehr finden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß man sich durch die systematische Prüfung der Röntgenaufnahmen über die Häufigkeit der Bifurkation und Zweiwurzeligkeit der ersten und zweiten unteren Prämolaren, sowie über die Häufigkeit der Variationen des Wurzelkanals und der Wurzel bei ein und demselben Individuum orientieren kann.

Es soll hier noch kurz darauf hingewiesen werden, welche Bedeutung die Anomalien des Wurzelkanalverlaufes und deren Erfassung im Röntgenbild für den Zahnarzt in der Praxis besitzen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen erneut, wie häufig Abweichungen von der Norm vorkommen. Es ist daher von Interesse für den Zahnarzt zu wissen, ob ihm die Röntgenaufnahme geeignete Hilfe bietet. Solche Anomalien spielen in allen Gebieten der Zahnheilkunde, sei es im operativen, im konservierenden oder im prothetischen Bereich,eine wichtige Rolle. Mehrwurzelige Zähne, Bifurkation des Wurzelkanals in verschiedener Höhe vom Apex, wie auch Hyperzementosen, Wurzelabknickungen, auch extrem lange oder kurze Wurzeln erschweren Wurzelkanalbehandlungen und Extraktionen oft erheblich. Viele dieser praktisch bedeutungsvollen Abweichungen können im Röntgenbild erkannt werden. Daß dies auch für einen Teil der feineren Wurzelkanalverhältnisse zutrifft, konnte hier gezeigt werden.

Es ist noch zu erwähnen, daß die sich aus diesen Untersuchungen ergebenden praktischen Konsequenzen für die Wurzelkanalbehandlung wie folgt zusammengefasst werden können.

Es ist grundsätzlich unmöglich, das gesamte Wurzelkanalsystem eines Zahnes mit Sicherheit auszuräumen und durch eine Wurzelfüllung zu ersetzen. Das Ausmaß, in dem diese Idealforderung im Einzelfall werden kann, lässt sich gewöhnlich nicht überblicken. Von extremen, röntgenologisch erkennbaren Abweichungen abgesehen ist es deshalb eine Frage des ärztlichen Risikos, ob der Versuch einer konservativen oder chirurgischen Wurzelkanalversorgung unternommen werden soll oder nicht. Entscheidend wird bei positiver Einstellung zu diesen Behandlungsmaßnahmen schließlich das Ergebnis gründlicher klinischer Nachkontrollen sein. Daß ein mißglückter Behandlungsversuch nicht allein durch technisch-therapeutische Fehler, sondern auch durch mitunter zunächst nicht erkennbare anatomische Variationen des Wurzelkanalsystems erklärt werden darf, kann als wesentliche Schlussfolgerung aus den vorliegenden Untersuchungen abgeleitet werden.

ZUSAMMENFASSUNG

70 erste und 80 zweite untere Prämolaren wurden der Kontrastmethode des Kanalsystems unterworfen, so daß die Verästelungen in situ am Gesamtzahn sichtbar waren. Auf diese Weise lassen sich die topographischen Verhältnisse demonstrieren.

Die Wurzelkanäle der unteren Prämolaren können mehr oder weniger stark differenziert sein, und zwar:

a) durch Auftreten von Ästen innerhalb der regio apikalis (Ramifikationen). Der Befund von ein bis zwei Ästen neben dem Hauptkanal ist häufig zu verzeichnen. Die Prozentzahlen liegen für P_1 bei 47,1 und für P_2 bei 53,75. Selten hingegen ist eine Aufspaltung in mehr als 3 Rami, etwa bis zu 8. Ein solcher Grad von Rami wurde an zwei ersten Prämolaren = ca. 2,86% gefunden.

b) durch Längsteilung eines ursprünglich einheitlichen Wurzelkanals in 2 oder 3 mehr oder minder parallel zueinander verlaufende Kanäle, die jeder für sich in ein eigenes Foramen ausmünden können. Vielfach kommunizieren diese geteilten Kanäle noch miteinander durch breite Bänder, netzartiges Maschenwerk oder mikroskopisch feine Querverbindungen.

c) durch Markkanäle. Diese können an jeder Stelle die Wurzelpulpa (meist senkrecht) verlassen und in das Periodontium einstrahlen. Sie treten sowohl in der Nähe des apicalen Bezirkes als auch nicht selten kurz innerhalb des Zahnhalses auf. Am häufigsten finden sie sich im mittleren Drittel der Wurzel.

Die Kenntnis der normalen Anatomie des Wurzelkanalsystems und ihrer Abweichungen ist nicht nur von theoretischer, sondern, wie noch einmal hervorgehoben werden darf, auch von vielfältiger praktischer Bedeutung für die zahnärztliche Therapie.

Es sei mir erlaubt, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Adolf Kröncke für die Überlassung der Arbeit und für die wertvollen Ratschläge bei ihrer Durchführung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Hans Gülzow, Herrn Dr. Hans Merk, sowie Frl. Brigitte Westphale für deren freundliche Unterstützung bei der Sammlung des Materials und für Ratschläge bei der Abfassung des Textes.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Adloff, G. : Das Durchsichtigmachen von Zähnen und unsere Wurzelfüllungsmethoden.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk, 31, 445 (1913)

2. Amos, E. R. : J. Amer. Dent. Ass. 50, 70 (1915)

3. Feiler, E. : Zur Anatomie des Foraman apicale.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 33, 26 (1915)

4. Ferenczy, K. : Röntgenologische Untersuchungen über die Variationen und Anomalien der unteren Prämolarenwurzeln.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 17, 623 (1962)

5. Fischer, G. : Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk, 25, 544 (1907)

6. Fischer, G. : Beiträge zur Behandlung erkrankter Zähne mit besonderer Berücksichtigung der Anatomie und Pathologie der Wurzelkanäle.
Dtsch. Zahnhlk.,in Vortr. H.4/5 (1908)

7. Fischer, G. : Der heutige Stand der Wurzelbehandlung mit Rücksicht auf die feinere Anatomie menschlicher Wurzelkanäle , insbesondere am Foramen apicale.
Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 30, 81 (1912)

8. Garus, K. W. : Über die Verzweigungen der Wurzelkanäle menschlicher Zähne.
Med. Diss. Düsseldorf, S. 23 und 37 (1950).

9. Green, D. : J. Amer. Dent. Ass. 7, 12 (1955)

10. Hess, W. : Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale.
Schweiz. Mschr. Zahnhlk. 27, 29 - 30 (1917)

11. Keller, O. : Untersuchungen zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses nach dem Aufhellungsverfahren.
Schweiz. Mschr. Zahnhlk. 37, 635 (1928)

12. Lenhossek, M. : Makroskopische Anatomie.
In J. Scheff: Handbuch der Zahnheilkunde.
Wien - Leipzig, 1, 110 (1922)

13. Loos, R. : Topographie der Pulpahöhle mit Rücksicht auf die Präparation der Kavität.
Österr.-Ung. Vjschr. Zahnhlk. 25, 929 (1909)

14. Meyer, W. : Die Anatomie der Wurzelkanäle.
Scheele, E. Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 9, 497 (1954)

15. Miller, W. D. : Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.
Leipzig, Georg Thieme, 2. Aufl. (1904)

16. Mühlreiter, E. : Die Anatomie des menschlichen Gebisses.
Leipzig, Arth. Felix, (1891)

17. Okumura. T.J.: Anatomy of the Root-Canals.
J. Amer. Dent. Ass. 1, (1927)

18. Preiswerk, G. : Die Pulpaamputation.
Österr.-Ung. Vjschr. Zahnhlk. 27, 145 (1908)

19. Richter, E. : Die Verästelung der Wurzelkanäle.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 39, 915 (1936)

20. Rottenbiller, E: Zur Frage der Wurzelramifikationen.
Österr.-Ung. Vjschr. Zahnhlk. 36, 12 (1928)

21. Walkhoff-Hess.: Lehrbuch der konservierende Zahnheilkunde.
Leipzig, Johann Ambrosius Barth.
6. Aufl. 183 (1960)

22. Waechter, R. : Zur Anatomie der Seitenverzweigungen des Wurzelkanals.
Österr. Stomatol. 54, 529 (1957)

23. Weyman, F. : Beitrag zur Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne und ihre Bedeutung für die Zahnerhaltung.
Med. Diss. Münster (1957), S. 23

Lebenslauf

Ich, Johannes Tzoumaris, wurde am 7. 1. 1929 als dritter Sohn des Theodoros Tzoumaris, Landwirt, und seiner Ehefrau Hypatie Tzoumaris geb. Kalaitzi in Aristinon, Alexandroupolis/Griechenland geboren.

Von 1936 bis 1942 besuchte ich die Volksschule in Aristinon. 1943 trat ich in das Gymnasium in Ferre ein, das ich nach einem Jahr wieder verließ. Von 1944 bis 1949 besuchte ich das Gymnasium in Alexandroupolis, dort absolvierte ich mein Abitur.

Von Ende 1949 bis 1950 blieb ich bei meinem Vater und wurde dann von 1951 bis 1953 zum Militärdienst einberufen. 1954 bis 1955 studierte ich Zahnheilkunde an der Universität Istanbul, Türkei, und war dann anschließend bis 1957 wieder bei meinem Vater beschäftigt.

Im Juli 1957 kam ich nach Deutschland um mein Studium an der Universität Tübingen erneut aufzunehmen.

Im April 1961 bestand ich meine Zähnärztliche Vorprüfung und im November 1963 mein Staatsexamen.